ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОСНОВНЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ

Е.Г. Величко, Э.С. Цховребов*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26;*

**Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами (ФГУ «НИЦПУРО»),
141006, г. Мытищи, Олимпийский пр-т, д. 42*

Аннотация. Экологически безопасная строительная продукция представляет собой материалы и изделия строительного назначения, произведенные из возобновляемых природных ресурсов и компонентов природной среды с минимальными затратами природных и энергетических ресурсов, в процессе обращения которых (добыча сырья для их производства, изготовление, транспортировка, эксплуатация в строительных конструкциях, переработка, утилизация, захоронение в природной среде) не оказывается негативного воздействия на человека и окружающую среду. В статье рассматриваются основные исторические этапы использования экологически безопасных строительных материалов в промышленном и гражданском строительстве начиная с древности и заканчивая современной эпохой. Представлены обзорные материалы по использованию в строительстве безопасных видов природной продукции: дерева, камня, соломы, торфа, глины и других видов экологически чистых материалов. Анализируются свойства природных материалов, позволяющие обеспечить экологическую безопасность, санитарно-гигиенические требования, уют и комфортность для человека зданий, строений и помещений, выполненных с их применением.

Ключевые слова: экологическая безопасность, строительные материалы, промышленное и гражданское строительство, рациональное использование природных ресурсов, охрана окружающей среды

DOI: 10.22227/1997-0935.2017.1.26-35

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION MATERIALS: BASIC HISTORICAL STAGES

E.G. Velichko, E.S. Tskhovrebov*

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26, Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation;*

**Research Center on Problems of Resource Saving and Waste Management (FGU NITsPURO),
42 Olimpiyskiy pr., Mytishchi, 141006, Russian Federation*

Abstract. Environmentally safe construction products are materials and products of construction purpose made of renewable natural resources and natural environment components with minimum spend of natural resources and energy, and the process of handling thereof (extraction of raw materials for production of the aforesaid materials and products, manufacture, transportation, use in engineering structures, processing, recycling, burial in natural environment) does not adversely affect neither humans nor environment. The article considers the basic historical stages of use of environmentally friendly construction materials in industrial and civil construction, starting from antiquity and ending with modern age. Review materials on the use of safe natural products such as wood, stone, thatch, peat, clay and other types of environmentally friendly materials in construction are presented. Properties of natural materials that ensure environmental safety of buildings, structures and premises, sanitary and hygienic requirements, coziness and comfort thereof for humans are analyzed. It is concluded that at present time the construction of high quality, comfortable, ecologically safe housing at affordable prices which is based on environmentally friendly technologies, resource and energy saving, construction materials safe for human health, should become one of the main priorities of economic and environmental policy of Russia.

Key words: environmental safety, construction materials, industrial and civil construction, rational use of natural resources, protection of environment, environmentally friendly technologies, energy saving

Дерево, камень, солома, глина, песок и другие природные материалы и полезные ископаемые, непосредственно используемые для строительства, экологически безопасны, но приводят к изъятию природных ресурсов из природной среды, истощая ее запасы. Для строительства также необходим и ценный, охраняемый природный ресурс — вода.

Применяемые в строительстве более технологичные, условно экологически безопасные строительные изделия (кирпич, плитка, металлочерепица, пенобетон, арболит, фибролит, фольга, пеностекло, цементно-стружечные плиты, стекломатный лист, олифа, клеи и краски из натуральных природных компонентов, известь, стекло, металлокон-

струкции, целлюлозные утеплители и пр.) производятся промышленным способом из различных природных ресурсов и компонентов природной среды. Они сами по себе как конечный продукт мало опасны для окружающей среды, но при нарушении экологических, технических и санитарно-гигиенических требований к их обращению (производству, транспортировке, хранению, утилизации, переработке) могут оказать негативное механическое и химическое воздействие на земельные, водные ресурсы, растительный мир, способствовать негативным последствиям для здоровья людей.

Полностью экологически безопасная продукция использовалась человеком испокон веков [1–3], стремление жить в зданиях и сооружениях из такой продукции актуально и в настоящее время. Экология в переводе с греческого — это наука о доме. Поэтому человек разумный постоянно обращал внимание на характеристики природных компонентов, которые способствовали его безопасному комфортному проживанию и безопасности жизнедеятельности в целом. Он открывал, добывал все новые и новые компоненты из недр планеты, создавая более удобные и безопасные строительные материалы и конструкции. Расширялся и модифицировался ассортимент строительных материалов. Виды строительной продукции и технологии ее изготовления совершенствовались в рамках развития производительных сил и производственных отношений в человеческом обществе. Простейшие материалы и примитивные строительные технологии заменялись более совершенными, ручное производство строительных материалов сменялось механизированным. Но при этом экологические правоотношения (отношения между человеком, обществом и природой) не потеряли свою значимость и сейчас, они являются основой для любого вида хозяйственной деятельности, включая строительное производство. Эти отношения предопределены не только нормативно-правовыми актами, но самосознанием разумного человека, стремящегося жить, строить будущее, заботиться о детях в благоприятной и безопасной окружающей среде.

Рассмотрим кратко историю создания и развития применения таких материалов в строительном производстве.

Самым дешевым строительным материалом является то, что находится в избытке вокруг людей, то, что дает сама природа. Дома из мешков с землей изготавливались еще при первобытнообщинном строе. Сейчас — это частое явление на Таиланде и в других странах Юго-Восточной Азии с континентальным климатом; такие дома могут пережить землетрясения, наводнения, являются экологически безопасными и пожароустойчивыми. Главным преимуществом домов из мешков с зем-

лей является низкая стоимость. В настоящее время для жилищного строительства используются нестабилизированные грунтоблоки или сырцовые кирпичи, изготавливаемые из грунта. Строительство из такого экологически безвредного материала обладает рядом преимуществ: низкая цена, высокая прочность, огнеупорность, малая теплопроводность. Грунтоблоки могут иметь нестандартную форму, это придает дому эстетичность, стены при этом не нуждаются в декоративной облицовке. В последнее время широким спросом пользуется уникальный материал — геокар, в основе которого переработанный в пасту торф с добавлением стружки, рубленой соломы, древесных опилок. После тщательной сушки из такого сырья получают торфоблоки. Преимуществами торфа являются долговечность, теплоемкость, бактерицидное действие, непроницаемость для радиоактивных лучей. Подобное изделие способно поглощать шумы и неприятные запахи, устойчиво к гниению и атакам грызунов. Зимой в таком доме тепло, летом — прохладно, что в комплексе создает комфортные условия для проживания в нем людей [3, 4].

Экологически чистый природный ресурс — глина с древнейших времен служит строительным материалом. Еще в Вавилоне и Древней Руси из необожженной глины возводились хозяйственные постройки, жилые дома. Первоначально влажную глину набивали в специальные деревянные формы, а затем высушивали на солнце для устройства ограждающих конструкций. Испокон веков глина применяется в строительстве в комплексе с деревом, соломой и другими экологически чистыми материалами. Но все же одним из основных направлений строительного использования глины стал ее обжиг с получением наиболее массового экологически безвредного строительного изделия — кирпича, изготавливаемого из глины без использования токсичных добавок и красителей. Стены из такого материала прочны, долговечны, устойчивы к негативным воздействиям окружающей среды. В странах Древнего мира, которых ощущался дефицит природного камня, употреблялся высушенный (необожженный) кирпич из глины или речного ила. Для облицовки стен, сложенных из необожженного кирпича-сырца, позднее стали применять обожженные изделия из глины (кирпич и облицовочные плиты). Уже в VII–VI вв. до н.э. в качестве кровельного материала получила распространение глиняная обожженная черепица, в дальнейшем — терракота (облицовочные плиты) и кирпич для стеновых конструкций. В V–VI вв. и позже народы Средней Азии при строительстве монументальных сооружений широко применяли декоративную облицовку из цветного кирпича, многоцветных глазурованных плиток. Уже тогда в качестве красителей использовались при-

родные: просеянные известняк, мел, цветные минералы и пр.

Исторические памятники Киевской Руси, например Софийский собор, заложенный князем Ярославом Мудрым, стали одними из первых каменных сооружений на Руси, возведенных из кирпича и камня на растворе. Технология изготовления кирпича известна на Руси еще до X в. Обожженный кирпич встречается в кладке Преображенского собора в Чернигове, Десятинной церкви, Софийского собора и Золотых ворот в Киеве. В 1367 г. по указанию князя Дмитрия Донского возведены каменные стены вокруг столицы. Во второй половине XV в. выстроены из кирпича в Москве Успенский собор, дворец в Угличе и другие архитектурные памятники, кирпичные стены и башни Кремля, сохранившиеся до настоящего времени. В XVI в. из такого материала на Руси возведено большое количество крепостей, различных военных укреплений. В строительстве сооружений этого типа кирпич являлся основным строительным материалом. В 1508 г. вокруг Кремля был устроен глубокий ров, откосы которого облицованы кирпичом и камнем. В конце XV и начале XVI вв. в архитектурном ансамбле Кремля были возведены новые соборы, Грановитая палата и другие здания. В середине XVI в. русскими зодчими для сооружения храма Василия Блаженного в Москве широко применялись обыкновенный и цветной кирпичи, природный камень, черепица, кровельное железо, использовалась техника склеивания древесины с помощью натуральных природных клеевых компонентов. Крупным достижением русской строительной техники того времени является сооружение каменной колокольни Ивана Великого высотой более 80 м. Кирпичные строения в промышленном и гражданском строительстве являлись доминирующими в течение XIX и первой половины XX в. в крупных городах и поселках стран Европы и России. Только во второй половине XX в. кирпичное домостроение стало вытесняться монолитными, панельными и блочными бетонными, а также железобетонными строительными конструкциями. Однако кирпич, как экологически безопасный материал, активно продолжает использоваться в промышленном и жилищном строительстве как в России, так и за рубежом. Лицевой керамический кирпич — новый экологически чистый стеновой материал, объединяющий функции конструктивного и облицовочного изделия для возведения наружных стен. По сравнению с бетонными конструкциями с опасными для окружающей среды и здоровья людей добавками и заполнителями такой материал характеризуется отсутствием токсичности и более низким радиационным фоном, что позволяет использовать его для всех видов промышленного и гражданского строительства. Наименее энергоемким и практичным

видом кирпича считается изделие, изготавливаемое из глины с добавлением армирующей ее соломы, эффективно используемое в районах с сухим климатом [5, 6].

Для строительства жилья человеком издревле используются уникальные экологичные и эстетические свойства дерева, которые обеспечивают легкость конструкций, благотворно влияют на состояние здоровья и продолжительность жизни. Однако дерево как строительный материал при его несомненных достоинствах, показало ряд существенных недостатков. Основными из них являются горючесть, гниение, подверженность разрушающим воздействиям грибков, паразитов, насекомых, необратимое изменение линейных размеров при перепадах влажности, недолговечность, невысокие теплоизоляционные свойства. В качестве строительного материала дерево начали использовать примерно на десять тысяч лет раньше, чем камень. Первые дома представляли собой шалаши и землянки из земли, соломы, листьев, шкур, крон и веток деревьев и кустарников. Следующим этапом в деревянном домостроении являлось возведение домов на деревьях и на сваях. В прибрежных подтапливаемых зонах водоемов в грунт забивались сваи, на них устанавливалась деревянная платформа из бревен, на которой, в свою очередь, строился жилой дом, складское или иное хозяйственное строение. Учитывая, что основная масса поселений находилась в водоохраных зонах и прибрежных полосах водных объектов, расположение зданий на сваях (или на деревьях) обеспечивало безопасность в случае наводнения, подтопления территорий, защиту от нападения диких животных. Одним из первых городов, здания в котором построены из дерева считается Иерихон. В Средиземноморье деревянное строительство стало распространенным в VIII тысячелетии до н.э. Из дерева строились жилые дома, храмы, общественные и хозяйственные постройки. В середине VII в. в Москве, Пскове, Ярославле, Угличе, Новгороде и других городах Древней Руси созданы выдающиеся инженерные сооружения из древесины, являющиеся памятниками архитектуры. Так, в 1115 г. построен большой деревянный наплавной мост через р. Днепр в Киеве, а в 1156 г. в Москве возведены крепостные укрепления полностью из древесины [7–9].

В конечном итоге, такое массовое употребление дерева постепенно приводило к его дефициту. Деревянное домостроение плавно перемещалось в северные регионы планеты, богатые лесными ресурсами: Канаду, Северную Европу, северные и восточные регионы России. В странах Европы, России деревянные дома являлись объектами жилищного и общественного строительства еще десятки веков. Однако во II тысячелетии даже на таких богатых лесом территориях как центральная и северо-западная

часть России начал ощущаться дефицит древесного сырья, что заставляло переходить на более распространенные материалы (камень, солома и пр.), а то и вовсе наложить запрет на строительство из дерева в целях сохранения лесных ресурсов. Так статьей 220 Соборного уложения XI–XIV вв. на Руси предусматривались штрафы за вырубку леса, а статьей 223 — за поджог лесов. В XV–XVII вв. охранялись так называемые засечные леса по южной границе государства, куда, кроме ратников, не допускался никто. В эпоху царствования Петра I сохранению лесов уделялось важнейшее внимание, так как благодаря именно ему крепло военное могущество России на море. Впервые учреждались постоянные лесозаготовки, а леса подразделялись на две категории: охраняемые и эксплуатируемые. К охраняемым относились леса, способствовавшие предотвращению эрозии вдоль водных путей, а также дубовые леса, необходимые для кораблестроения. В 1703 г. объявляются заповедными дубовые леса в Симбирской губернии. В соответствии с законами того времени, к охраняемым породам деревьев были отнесены дуб, клен, вяз и лиственница. Возрождением петровских традиций защиты лесов стал Лесной кодекс, принятый в 1888 г. В дальнейшем благодаря дефициту леса ужесточению государственных российских и советских требований к добыче древесины и, как следствие, росту себестоимости, промышленное и гражданское деревянное домостроение все в большей степени переставало быть экономически целесообразным и массовым, превратившись в индивидуальное жилищное строительство [10].

Учитывая нехватку деловой древесины, используемой при строительстве сооружений, широкое применение получила солома, остававшаяся в избытке на полях. Первые соломенные дома начали возводить еще в начале нашей эры. Позднее прессованные блоки из соломы стали дополняться прочным каркасом из бревен, а затем в южных регионах с теплым климатом развернулось возведение строений из соломы разнообразного назначения: жилых домов, усадеб, школ, магазинов, сельскохозяйственных построек. Однако уже в середине XX в. соломенное домостроение стало постепенно вытесняться в результате появления более современных строительных технологий. Несмотря на это, идея возведения недорогих и при этом надежных, экологически безопасных жилых зданий не стала утопией. Эти прогрессивные идеи переросли в целое движение по строительству экономичных и экологически чистых домов из долговечного, теплостойкого, прочного, проверенного веками материала — самана (смеси песка, прессованной соломы, глины и воды). В Англии возведены десятки тысяч комфортабельных саманных домов, многие из которых населены уже более пяти веков. Йеменские многоэтажные

здания, построенные частично из самана (Таос Пу-эбло), используются в течение 900 лет. Смешивание глины с соломой армирует конструкцию, делает ее более легкой, прочной, усиливает теплоизоляционные свойства стен и потолков, накапливает днем тепло и не дает жаре проникнуть в жилище, а ночью, наоборот, отдает тепло. Дома из самана считаются лечебными, так как в глине содержится радий, который оказывает благотворное воздействие на здоровье людей [3, 4, 11].

В течение всей своей истории, человек старался устранить технологические недостатки древесных материалов. При этом основным направлением изысканий, являлся поиск природных добавок, с которыми можно было смешать древесное сырье. Первый успех был достигнут в 1900 г., когда австрийский плотник Шмидт изготовил первый прототип древесно-цементных плит из смеси цемента, древесной шерсти и гипса. В 1910 г. плиты под названием «гераклит» начали изготавливаться в Австрии. С 1928 г. цементный фибролит в промышленном масштабе стали выпускать сначала в Германии, а затем и в других странах мира. Такой безопасный материал низкой плотности, созданный на основе длинноволокнистых частиц дерева и цемента, получил разные названия: в Италии — «селенит», Австрии — «гераклит», Швеции — «траулит», в Германии, России и ряде других стран — «фибролит». Представляют интерес фахверковые дома — своеобразный вид надежной конструкции, каркас которой состоит из прямых и наклонных деревянных балок. Пространство между балками заполняют соломой, спрессованной деревянной стружкой или глинобитным материалом.

Керамическая плитка в качестве отделочного материала употреблялась в древних городах Азии, откуда распространилась по странам Ближнего Востока и в Европу. В эпоху Древнего мира и Средневековья возводились храмы, дворцы, для отделки которых использовались эти дорогие материалы. Древние полы Софийского собора выполнены из шестигранных цветных керамических плиток. Изображения на стенах расписаны фресками (окраска по свежей штукатурке земляными красками), набраны стеклянными смальтами. На территории Десятинной церкви найдены мастерские VI в., где обнаружены стеклянная глазурь, смальта, тигли для плавления. Керамические изделия применялись в России для внешней и внутренней облицовки дворцов, церквей, правительственных и общественных зданий [2, 12].

При постройке крупных сооружений в рабовладельческом обществе (крепостей, дворцов, храмов, дорог и мостов) широко использовались горные породы, их обрабатывали в виде камней и плит правильной формы (Урарту, Хорезм, Рим, Афины).

Каменный дом привлекал не только прочностью, долговечностью, безопасностью, но и эстетикой, благодаря неповторимой красоте фактуры природного камня: гранита, мрамора, кварцита, порфира. Однако в средние века удорожание рабочей силы заставляло отказываться от использования природного камня, на обработку которого затрачивалось много труда, и применять более дешевые и прогрессивные материалы, например черепицу и кирпич. Самые прочные и долговечные камни, запасы которых залегают в средней полосе России, используемые при строительстве каменных домов — это камни вулканического происхождения, например, бутовый камень. Широко применяется в строительстве и ракушечник — для кладки стен, простенков. Легкость материала в обработке обуславливает возможность его применения в качестве замены общестроительного кирпича.

Для скрепления камня, кирпичей при возведении строений необходимы вяжущие вещества. Первыми вяжущими, появившимися в истории, стали глина, гипс, известь. Позднее для строительства фундаментов, водопроводов, гидротехнических сооружений потребовались вяжущие вещества, способные твердеть в воде. Ими в древние века стали смесь извести с молотым слабообожженным кирпичом, а в древнеримском строительстве — смесь извести с вулканическим пеплом (пуццоланой). Вяжущие вещества, такие как глина, известь, гипс, применялись в строительстве не только для каменной кладки, но и для получения простейшего бетона. Несмотря на не высокие показатели прочности, влагостойкости и морозостойкости, именно из гипса и известняка были созданы великие исторические архитектурные памятники, например, римские акведуки. Со временем, с развитием неорганической химии, в растворы, содержащие гипс и известняк, начали добавлять разного рода наполнители. Но только в XVII в. была изобретена смесь, имевшая приблизительно схожесть с современным сухим цементом. Британский ученый Джон Паркер благодаря обжигу осадочных горных пород (мела, извести и глины) смог получить вещество с относительно большой прочностью. Данное связывающее вещество, имевшее способность твердеть в воде, было названо «романским цементом».

Изобретению бетона предшествовало создание ряда новых вяжущих веществ (гидравлическая известь, портландцемент), твердеющих в воде и обладающих более высокой прочностью, чем применявшиеся первоначальные виды цемента. В начале XIX в. в России был изобретен и изготовлен цемент высокого качества, позволявший скреплять кирпич и камни в единую конструкцию, остававшуюся целостной при сильных перепадах температуры и влажности. С этого времени цемент получали

уже при сильном обжиге осадочных горных пород. Начиная с 60-х гг. XIX в., после усовершенствования технологии и повышения прочности цемент становится основным вяжущим для производства бетона, железобетона [12].

Большую роль в формировании технологий производства строительных материалов играла наука. В эпоху капитализма важной основой развития науки о строительных материалах явилась неорганическая химия, а также физико-химическая механика, разработанная академиком П.А. Ребиндером, решавшая задачи получения тел с высокими физико-механическими и прочностными свойствами, определения наилучших условий механической обработки материалов, поиска и применения физико-химических и механических методов для наилучшей обрабатываемости твердых тел с учетом воздействия окружающей среды. Солидный вклад в развитие науки о материалах и охране природных ресурсов путем утилизации отходов строительства был внесен русскими учеными. М.В. Ломоносов дал научное объяснение химическим явлениям, протекающим при воздействиях огня на различные материалы, разработал составы цветных стекол и способ изготовления мозаичных панно из них. Д.И. Менделееву принадлежат публикации по основам стекловидного производства. Ученый придавал большое значение переработке остатков (отходов) производства. Он обращал внимание на то, что в результате утилизации отходов происходит превращение бесполезного материала в ценные по свойствам изделия. Д.И. Менделеевым предложены различные методы промышленной переработки отходов: переделка тряпья после очистки и сортировки в искусственную шерсть или бумагу, костей — в клей и фосфорные удобрения, стеклянного боя — в стекло в процессе варки и плавления, использование дегтя и смолы для пропитки картона (кровельный толь) [10].

В трудах ученых того времени были созданы все предпосылки для повышения технологичности строительной продукции, экологически безопасной переработки строительных отходов во вторичное сырье.

Позднее, уже в XX в. стало ясно, что ряд строительных материалов, такие как битум, смолы, краски из солей тяжелых металлов, асбест, цемент представляют опасность для человека и природной среды. Учеными было установлено, что, например, цементная пыль оказывает вредное воздействие при длительном вдыхании, вызывая поражение слизистых дыхательных путей. Гораздо опаснее становилось воздействие на окружающую среду и людей бетонной или цементной пыли при использовании всевозможных заполнителей и добавок (полимерные смолы, соли тяжелых металлов, фосфогипс) или отходов производства (гальваношламы, метал-

лургические шлаки, осадки очистных сооружений) из-за угрозы радиоактивного воздействия или попадания в природную среду таких чрезвычайно и высокоопасных веществ как хром, свинец, никель, кадмий, кобальт, магний, медь, алюминий, марганец, ртуть, стронций, цинк, мышьяк, фосфор и их токсичных соединений [13, 14].

Поэтому исторически сложилось, что человек стал разрабатывать новые прогрессивные и безопасные для себя и окружающей среды виды вяжущих материалов. Одним из экологически малоопасных видов бетона в XX в. становится арболит — легкий бетон, получаемый в результате формования и твердения смеси, состоящей из минеральных вяжущих, древесных заполнителей, минерализатора и воды. В XXI в. ученые подошли к созданию экологически безопасного биологического бетона (биобетона), основным отличием которого от обычного бетона является то, что в его состав входят малоопасные компоненты, позволяющие материалу сохранять все свои свойства в условиях прорастания в нем растений. В составе биобетона вместо портландцемента применяется фосфат магния, который не только на высоком уровне выполняет скрепляющие функции, но и обуславливает наличие кислотной среды, обеспечивающей благоприятные условия для прорастания и развития различных растений, лишайников, мхов без какого-либо вреда для строительных конструкций, преобразая при этом внешний вид зданий и сооружений. Проросшие поверхности активизируют процессы естественного очищения воздушной среды в мегаполисах от оксидов серы, углерода, азота. Жилые дома или общественные здания, при строительстве которых использован данный инновационный вид бетона, превращаются в зеленые стены и вертикальные сады, решая проблемы озеленения городов.

В XX в. в период индустриализации экономики и связанной с ней растущей урбанизации был осуществлен переход на промышленные технологии в строительном комплексе, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду и здоровье людей. Однако на сегодняшний день приходится констатировать тот факт, что экологическая безопасность не является главным критерием качества строительной продукции при формировании системы государственного регулирования строительного комплекса. Вместе с тем в связи с ухудшением состояния окружающей среды на планете остро назрела необходимость экологизации промышленного и гражданского строительства в целях максимального удовлетворения потребностей человека в экологически безопасном проживании с учетом ограниченности природно-ресурсного потенциала региона и города.

В Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г., утвержденной приказом Минрегионразвития РФ от 30.05.2011 г. № 262, задача повышения уровня и качества научных исследований в сфере актуальных проблем инновационного развития отрасли определена как одна из важнейших и ключевых на современном этапе развития отрасли. В данном документе поставлена задача активизации научных исследований в сфере ресурсосбережения, переработки отходов и выпуска экологически безопасной строительной продукции. Отмечается, что для обеспечения строительного комплекса конкурентоспособными строительными материалами отраслевая наука должна адаптироваться более динамично к меняющимся условиям, а отрасль — стать более восприимчивой к техническому прогрессу. Основными инновационными направлениями развития производства основных видов строительных материалов в документе определены повышение качества, энергоэффективности и экологичности продукции, а также снижение ее энергоемкости.

Основополагающим для безопасного и комфортного проживания становится вопрос об использовании безвредных для здоровья человека строительных материалов и конструкций. Далеко не всякий материал или конструктивное решение, будучи пригодным для решения теплотехнических и других задач, оказывается оптимальным в отношении создания экологически и гигиенически приемлемых условий жизнедеятельности для человека. В итоге использование при строительстве и отделке дома экологически безвредных строительных материалов, не оказывающих прямого или косвенного воздействия на здоровье человека и на природную среду, является важнейшим фактором обеспечения экологической безопасности жилища. Предпочтительным является применение местного сырья, изготовление материалов на этой же строительной площадке в соответствии с экологическими и санитарными требованиями. Для строительства экологически безопасных зданий должны использоваться все не запрещенные санитарно-гигиеническими нормами строительные материалы, преимущественно малотоксичные либо нетоксичные. К ним можно отнести непосредственно рассмотренные выше виды природных ресурсов, экологически чистую продукцию из натурального сырья: олифу, краски из природных пигментов (минералов) на натуральных маслах, известковые краски, краски-фильтры, глиняный кирпич, цементно-песчаные и цементно-известковые растворы без токсичных добавок, жидкое стекло, кварцевые силикатные мастики, керамическую и металлочерепицу, профилированный лист, фольгу и другие конструкционные и изоляционные материалы из природных компонентов (целлюлозы,

войлока, стружки, хлопка, пробки, базальта) — цементно-стружечные, фибролитовые и базальтовые плиты, панели, стекломагниевый лист и т.п. [15–20].

Одним из наиболее перспективных направлений решения задач ресурсосбережения, повышения экологической безопасности промышленного и гражданского строительства, комфортности и гигиены жилого фонда считается развитие нанотехнологий в сфере производства современных строительных материалов. В странах ЕС, США, Японии, Китае нанотехнологии уже в течение достаточного периода успешно способствуют эффективному развитию строительной отрасли, сохранению природных ресурсов, улучшению окружающей среды, повышению безопасности и качества жизни населения. Начиная с 1990-х гг. при производстве строительных изделий в России активно внедряются различные инновационные технологии, основным вектором развития которых также становятся ресурсосбережение, санитарно-гигиеническая, экологическая безопасность, надежность, эффективность и оптимальность применения в строительной индустрии.

Наиболее успешно российские исследователи продвинулись в разработке инновационных технологий создания нанобетонов. В России первые успешные результаты в разработке нового строительного наноматериала — нанобетона были получены в 1993 г. российским ученым А.Н. Пономаревым из Санкт-Петербурга и группой специалистов из других городов. Был создан водорастворимый продукт «Астрален-С», предназначенный для цементных материалов, представлявший собой порошок наночастиц со средним размером кластеров 300 нм и насыпной плотностью 600...900 кг/м³. Введение наноматериала в цементные смеси в количестве 0,15 % от массы цемента позволило повысить их подвижность, заметно увеличив прочность.

Позднее еще одной инновационной разработкой А.Н. Пономарева стала модифицированная астраленами базальтовая микрофибра (МФ), предназначенная для более эффективного дисперсного армирования бетонов по сравнению с прутковой стальной арматурой или стальной фиброй. Перспективными направлениями использования такого материала становится производство наноструктурированных пено- и газобетонов повышенной морозо- и трещиностойкости, прочности на сжатие, легкости при небольшой средней плотности.

Заметных успехов в наномодифицировании бетонов добилась группа исследователей из Санкт-Петербурга под руководством профессора Ю.В. Пухаренко в части разработки эффективного наномодификатора, позволяющего при расходе 1,4 кг на 1 м³ бетонной смеси увеличить ее подвижность на 20...25 %, морозостойкость и водонепроницаемость.

При изготовлении нанобетона на основе портландцемента введение в исходные цементные смеси сравнительно небольшого количества наночастиц различных веществ и химических соединений способствует заметному улучшению результирующих показателей технико-эксплуатационных свойств изделий. Нанобетон, разработанный российскими учеными, при нанесении на железобетонную конструкцию обладает свойством заполнять ее микропоры, полимеризуется и восстанавливает прочность конструкции. Кроме того, продукт может вступать в реакцию с коррозионным слоем проржавевшей арматуры и восстанавливать ее сцепление бетоном. Наноструктурирующий наполнитель активно воздействует на цементную матрицу, увеличивая долю наночастиц в продуктах гидратации цемента, способствуя повышению прочности и долговечности бетона и не ухудшая его гигиенические и экологические характеристики.

Перспективными видами таких материалов с использованием нанотехнологий в нашей стране являются:

- нанобетон, изготавливаемый из портландцемента, традиционных безвредных для здоровья человека наполнителей и экологически безопасного наномодификатора, добавляемого в количестве до 0,07 % к массе цемента, а также воды, структурированной ультразвуковой обработкой с достижением окончательной прочности — приблизительно 100 МПа вместо 50...60 МПа для бетона того же состава, но приготовленного без наномодификатора и на обычной воде;
- нанобетоны RPC с использованием нетоксичных углеродных нанокластеров в виде волокон наноразмеров, способствующих не только повышению прочности бетона, но и его долговечности;
- нанобетон высокой, сверхвысокой прочности с наночастицами микрокремнезема, используемый при возведении высотных зданий, монолитных железобетонных массивов, изготовлении несущих и ограждающих конструкций, подземных, гидротехнических сооружений.

Согласно данным предварительных экспертно-аналитических оценок в социальных сетях следует, что при массовом производстве в России нанобетонов, конечная стоимость новой продукции по сравнению с обычными бетонами будет выше всего на 10...20 %, но по своим потребительским свойствам новые материалы будут превосходить традиционный бетон в 4–6 раз, обеспечивая при этом надежность, долговечность конструкций и экологическую безопасность.

В последние годы работы над созданием новых строительных материалов на основе нанотехнологий ведутся в двух направлениях: в целях рекон-

струкции, капитального ремонта старых сооружений с восстановлением прочности конструкции и для нового промышленно-гражданского, а также транспортного строительства.

Так, успешно реализованными российскими, либо совместно с зарубежными, инновационными проектами в области создания и внедрения тепло-, гидроизоляционных наноматериалов стали:

- сравнительно недорогие нанокompозитные трубы для систем отопления, газо- и водоснабжения, существенно превосходящие аналоги по технико-эксплуатационным характеристикам;

- строительная стеклопластиковая нанокompозитная арматура, обладающая малым (по отношению к стали) весом, высокой прочностью, коррозионной и химической стойкостью, высокими диэлектрическими свойствами, низкой теплопроводностью;

- бентонитовая глина, которая благодаря высокой дисперсности частиц наноразмеров, высокой капиллярной и водоудерживающей способности способствует разбуханию материала и заполнению полостей при нанесении в трещины стыков фундамента, плит оснований, служит эффективным средством для гидроизоляции мембран;

- жидкая теплоизоляция толщиной одного слоя покрытия всего 0,4 мм в виде суспензии из наночастиц кремнезема со связующим акриловым раствором, широко используемая благодаря низкой теплопроводности — не более 0,02 Вт/(м · К), широкому температурному диапазону эксплуатации: от –60 до 220 °С, отражательной способности при тепловом излучении, антикоррозионным, негорючим свойствам — в качестве теплоизоляции трубопроводов пара, горячей и холодной воды, конструкций жилых и промышленных зданий;

- аналогичные теплоизоляционные покрытия в виде нанокрасок, при нанесении которых структурированные силиконовые и вакуумированные керамические микросферы создают силовой каркас покрытия, обладающий высоким термическим сопротивлением — продольно-слоистую структуру в виде пленок, разделенных воздушными тончай-

шими зазорами, способствующую формированию эластичного, не пропускающего капельную влагу многослойного, теплоотражающего покрытия, блокирующего все потоки теплопередачи [21, 22].

Всевозрастающие жесткие экологические и гигиенические требования к лакокрасочным изделиям подтолкнули ряд производителей к необходимости производства лакокрасочной продукции на основе нанокompонентов и натуральных компонентов, т.е. природных материалов, которые были образованы в результате биологических, термических или геолого-минералогических процессов. В результате созданы такие виды натуральных красок для стен и потолков, которые не только безвредны для окружающей среды и здоровья людей, но и способны очищать воздух в помещении от вредных примесей. Под влиянием света природные и нанокompоненты краски действуют аналогично катализаторам, превращая частицы грязи, запахи, органические соединения в нейтральные субстанции. В состав такой краски-фильтра, как правило, входят минеральные наполнители, белая гидравлическая известь, каталитически активные пигменты, эфир целлюлозы, ка-нифольный глицериновый эфир и вода.

Развитие инновационных технологий в сфере производства строительных наноматериалов открывает большие перспективы устойчивого развития строительного комплекса в нашей стране.

С учетом исторических этапов развития человечества и его жилища, основополагающими факторами которого являются комфорт, безопасность, здоровая для жизнедеятельности окружающая среда, следует вывод о том, что в настоящее время строительство высококачественного, комфортного и экологически безопасного жилья по доступным ценам, основой которого являются экологически чистые технологии, ресурсо- и энергосбережение, безопасные для здоровья людей строительные материалы, должны стать одним из главных приоритетов экономической и природоохранной политики России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатовский В.В., Мамин Р.Г., Рыбальский Н.Г. Экология жилища. М. : РЭФИА, 1995. 80 с. (Библиотечка для населения. Серия «Экологическая безопасность в быту»)
2. Князева В.П. Экология: основы реставрации. М. : Архитектура-С, 2005. 398 с. (Реставрация)
3. Развитие энергоэффективного, экологического индивидуального домостроения в Сибири: отчет по проекту Центра ООН по населенным пунктам (Хабитат). № FS-RUS-97-S03. Новосибирск, 1999. 680 с.

4. Аврорин А.В. Экологическое домостроение. Строительные материалы : анализ. обзор. Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 1999. Вып. 53. 72 с. (Экология)
5. Ильницкий А.П. Канцерогенные факторы жилища. М. : Международная академия информатизации, 1995. 63 с.
6. Черняк Я.Н. Очерки по истории кирпичного производства в России. X–начало XX вв. / под общ. ред. проф. П.М. Лукьянова. М. : Промстройиздат, 1957. 168 с.

7. Мехова Г.И. Русское деревянное зодчество. М. : Советский художник, 1965. 132 с.
8. Раппопорт П.А. Строительное производство Древней Руси (X–XIII вв.). СПб. : Наука, 1994. 158 с.
9. Раппопорт П.А. Древнерусская архитектура. СПб. : Стройиздат, 1993. 285 с.
10. Исаков В.М., Цховребов Э.С. Правовые основы охраны окружающей среды. М. : МОФ МосУ МВД России, 2004. 100 с.
11. Широков Е.И. Дерево, тростник, солома — строительные материалы для устойчивого развития // Архитектура и строительство России. 2007. № 2. С. 2–10.
12. Рыбьев И.А. История строительного материаловедения и развития технологий строительных материалов и изделий. М. : МИКХиС, 2006. 173 с.
13. Цховребов Э.С., Яйли Е.А., Церенова М.П., Юрьев К.В. Обеспечение экологической безопасности при проектировании объектов недвижимости и проведении строительных работ. СПб. : РГГМУ, 2013. 359 с.
14. Шевцов К.К. Охрана окружающей природной среды в строительстве. М. : Высшая школа, 1994. 239 с.
15. Архангельский Г.Г. Физические, химические и энергоинформационные факторы экологии жилища // Механизация строительства. 2009. № 7. С. 18–20.
16. Архангельский Г.Г. Физические, химические и энергоинформационные факторы экологии жилища // Механизация строительства. 2009. № 8. С. 26–29.
17. Цховребов Э.С. Эколого-экономические аспекты обращения строительных материалов // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2013. Т. 19. № 3. С. 10–14.
18. Цховребов Э.С., Величко Е.Г. Вопросы охраны окружающей среды и здоровья человека в процессе обращения строительных материалов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 99–103.
19. Цховребов Э.С., Четвертаков Г.В., Шканов С.И. Экологическая безопасность в строительной индустрии. М. : Альфа-М, 2014. 302 с. (Современные технологии)
20. Цховребов Э.С., Лебин А.Н., Белоусов В.Г. Новейшая история развития природоохранной деятельности в России // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2012. Т. 18. № 2. С. 192–196.
21. Войтович В.А. Строительные наноматериалы // Руководитель строительной организации. 2011. № 2. С. 4–19.
22. Кудрявцев П.Г., Фиговский О.Л. Наноструктурированные материалы, получение и применение в строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2014. Т. 6. № 6. С. 27–45.

Поступила в редакцию в декабре 2016 г.

Об авторах: **Величко Евгений Георгиевич** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, pct44@yandex.ru;

Цховребов Эдуард Станиславович — кандидат экономических наук, доцент, заместитель директора, **Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами (ФГУ «НИЦ-ПУРО»)**, 141006, г. Мытищи, Олимпийский пр-т, д. 42, rebrovstanislav@rambler.ru.

Для цитирования: *Величко Е.Г., Цховребов Э.С. Экологическая безопасность строительных материалов: основные исторические этапы // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 1 (100). С. 26–35. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.1.26-35*

REFERENCES

1. Gorbatovskiy V.V., Mamin R.G., Rybal'skiy N.G. *Ekologiya zhilishcha* [Ecology of Habitation]. Moscow, REFIA Publ., 1995, 80 p. (Bibliotekha dlya naseleniya. Seriya «Ekologicheskaya bezopasnost' v bytu» [Small Library for the Public. "Ecological Safety in Everyday Life" Series]) (In Russian)
2. Knyazeva V.P. *Ekologiya : osnovy restavratsii* [Ecology: the Basics of Restoration]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2005, 398 p. (Restavratsiya [Restoration]) (In Russian)
3. *Razvitie energoeffektivnogo, ekologicheskogo individual'nogo domostroeniya v Sibiri: otchet po proektu Tsentra OON po naselennym punktam (Khabitat). № FS-RUS-97-S03* [Development of Energy Efficient, Environment-Friendly Individual House Building in Siberia : Report on the UN Centre for Human Settlements (Habitat) No. FS-RUS-97-S03]. Novosibirsk, 1999, 680 p. (In Russian)
4. Avrorin A.V. *Ekologicheskoe domostroenie. Stroitel'nye materialy : Analiticheskiy obzor* [Environment-Friendly House Building. Construction Materials : Analytical Review]. Novosibirsk, GPNTB SO RAN Publ., 1999, issue 53, 72 p. (Ekologiya [Ecology]) (In Russian)
5. Il'nitskiy A.P. *Kantserogennye faktory zhilishcha* [Carcinogen Factors of Habitation]. Moscow, Mezhdunarodnaya akademiya informatizatsii Publ., 1995, 63 p. (In Russian)
6. Chernyak Ya.N. *Ocherki po istorii kirpichnogo proizvodstva v Rossii. X–nachalo XX vv.* [Essays on the History of Brick Making in Russia. X–early XX centuries]. Moscow, Promstroyizdat Publ., 1957, 168 p. (In Russian)
7. Mekhova G.I. *Russkoe derevyannoe zodchestvo* [Russian Wooden Architecture]. Moscow, Sovetskiy khudozhnik Publ., 1965, 132 p. (In Russian)
8. Rappoport P.A. *Stroitel'noe proizvodstvo Drevney Rusi (X–XIII vv.)* [Construction Operations of Ancient Rus (X–XIII centuries)]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 1994, 158 p. (In Russian)
9. Rappoport P.A. *Drevnerusskaya arkhitektura* [Old Russian Architecture]. Saint-Petersburg, Stroyizdat Publ., 1993, 285 p. (In Russian)
10. Isakov V.M., Tskhovrebov E.S. *Pravovye osnovy okhrany okruzhayushchey sredy* [Legal Fundamentals of Environmental Protection]. Moscow, MOF MosU MVD Rossii Publ., 2004, 100 p. (In Russian)

11. Shirokov E.I. Derevo, trostnik, soloma — stroitel'nye materialy dlya ustoychivogo razvitiya [Wood, Reed, Thatch — Construction Materials for Sustainable Development]. *Arkhi-tektura i stroitel'stvo Rossii* [Architecture and Construction of Russia]. 2007, no. 2, pp. 2–10. (In Russian)
12. Ryb'ev I.A. *Istoriya stroitel'nogo materialovedeniya i razvitiya tekhnologiy stroitel'nykh materialov i izdeliy* [History of Construction Materials Science and Development of Construction Materials/Products Technologies]. Moscow, MIKKhIS Publ., 2006, 173 p. (In Russian)
13. Tskhovrebov E.S., Yayli E.A., Tserenova M.P., Yur'ev K.V. *Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti pri proektirovani ob'ektov nedvizhimosti i provedenii stroitel'nykh rabot* [Ensuring of Ecological Safety in Design of Real Estate Items and During Construction Works]. Saint-Petersburg, RGGMU Publ., 2013, 359 p. (In Russian)
14. Shevtsov K.K. *Okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy v stroitel'stve* [Environmental Protection in Civil Engineering]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1994, 239 p. (In Russian)
15. Arkhangel'skiy G.G. Fizicheskie, khimicheskie i energoinformatsionnye faktory ekologii zhilishcha [Physical, Chemical and Energy-Informational Factors of Ecology of Habitation]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Construction Work Mechanization]. 2009, no. 7, pp. 18–20. (In Russian)
16. Arkhangel'skiy G.G. Fizicheskie, khimicheskie i energoinformatsionnye faktory ekologii zhilishcha [Physical, Chemical and Energy-Informational Factors of Ecology of Habitation]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Construction Work Mechanization]. 2009, no. 8, pp. 26–29. (In Russian)
17. Tskhovrebov E.S. Ekologo-ekonomicheskie aspekty obrashcheniya stroitel'nykh materialov [Ecological and Economical Aspects of Construction Materials Handling]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova* [Bulletin of Kostroma State University Named After N.A. Nekrasov]. 2013, vol. 19, no. 3, pp. 10–14. (In Russian)
18. Tskhovrebov E.S., Velichko E.G. Voprosy okhrany okruzhayushchey sredy i zdorov'ya cheloveka v processe obrashcheniya stroitel'nykh materialov [Issues of Environmental Protection and Human Health in Construction Materials Handling Process]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014, no. 5, pp. 99–103. (In Russian)
19. Tskhovrebov E.S., Chetvertakov G.V., Shkanov S.I. *Ekologicheskaya bezopasnost' v stroitel'noy industrii* [Ecological Safety in Construction Industry]. Moscow, Al'fa-M Publ., 2014, 302 p. (Sovremennye tekhnologii [Modern Technologies]) (In Russian)
20. Tskhovrebov E.S., Lebin A.N., Belousov V.G. Noveyshaya istoriya razvitiya prirodookhrannoy deyatel'nosti v Rossii [Contemporary History of Development of Environment-Related Activity in Russia]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova* [Bulletin of Kostroma State University Named After N.A. Nekrasov]. 2012, vol. 18, no. 2, pp. 192–196. (In Russian)
21. Voytovich V.A. Stroitel'nye nanomaterialy [Construction Nanomaterials]. *Rukovoditel' stroitel'noy organizatsii* [Head of Construction Organization]. 2011, no. 2, pp. 4–19. (In Russian)
22. Kudryavtsev P.G., Figovskiy O.L. Nanostrukturirovannye materialy, poluchenie i primeneniye v stroitel'stve [Nanostructured Materials, Derivatization and Application in Construction]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal* [Nanotechnologies in Construction : Science Internet-Journal]. 2014, vol. 6, no. 6, pp. 27–45. (In Russian)

About the authors: **Velichko Evgeniy Georgievich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Materials, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; pct44@yandex.ru;

Tskhovrebov Eduard Stanislavovich — Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Deputy Director, **Research Center on Problems of Resource Saving and Waste Management (FGU NITsPURO)**, 42 Olimpiyskiy pr., Mytishchi, 141006, Russian Federation; rebrovstanislav@rambler.ru.

For citation: Velichko E.G., Tskhovrebov E.S. Ekologicheskaya bezopasnost' stroitel'nykh materialov: osnovnye istoricheskie etapy [Ecological Safety of Construction Materials : Basic Historical Stages]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 1 (100), pp. 26–35. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2017.1.26-35